Introducción

El mercado eléctrico ecuatoriano inicia su proceso de reformas en Octubre de 1996, con la promulgación de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico (LRSE), y la puesta en marcha del mercado eléctrico en Abril de 1999. La industria eléctrica se la divide en cuatro etapas plenamente definidas, esto es:

- **Generación** de energía eléctrica
- **Transmisión** a los centros de consumo
- **Distribución** a los diferentes consumidores
- **Comercialización** (entrega, medición y cobro) de la energía eléctrica al consumidor final

La última fase corresponde a la ***Comercialización*.** Esta etapa básicamente consiste en:

- Seleccionar la tarifa y el voltaje de entrega a los consumidores
- Medir la energía que consumen los usuarios
- Facturar y cobrar el servicio de consumo de energía eléctrica
- Diseñar y realizar estrategias de comercialización.

En esta etapa es donde la energía se convierte en valores monetarios, necesarios para el funcionamiento y desarrollo de la Empresa y como consecuencia el desarrollo también de nuestra provincia; por lo tanto, esta etapa tiene la misma importancia que las anteriores.

La medición de la energía es el proceso más significativo dentro de la Comercialización, lo cual significa que la selección, operación y mantenimiento de los medidores merecen especial atención para evitar errores que a la postre se convertirán en pérdidas de energía con perjuicios para la Empresa de Distribución.

En esta parte del Seminario compartiremos los conocimientos para un correcto manejo de los medidores, que redundará en la mejora del proceso de Comercialización.

Conceptos Generales

1. Unidades de medidas eléctricas

Voltaje: Es la energía necesaria para poner en movimiento los electrones.

Símbolo	V
Unidad	Voltio (V)
Instrumento de medida	Voltímetro

Intensidad: Es la cantidad de electrones que circulan por segundo en un circuito eléctrico

Símbolo	I
Unidad	Amperio (A)
Instrumento de medida	Amperímetro

Potencia Activa: Trabajo que realizan los electrones en un circuito eléctrico.

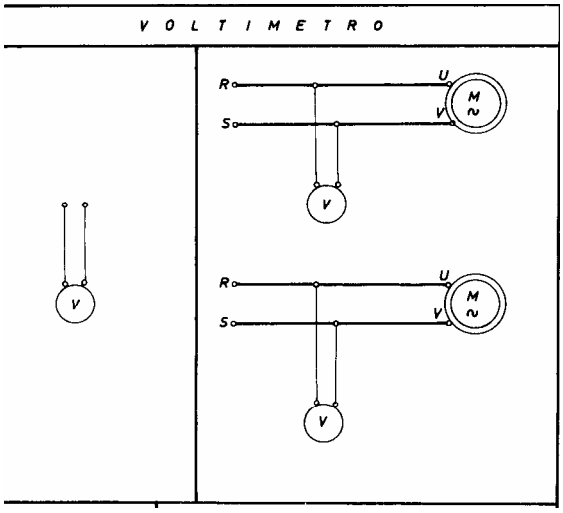
Símbolo	P
Unidad	Vatio (W)
Instrumento de medida	Vatímetro
Fórmula	$P= V \times I \times \cos\phi$

Energía: Es la capacidad para realizar un trabajo

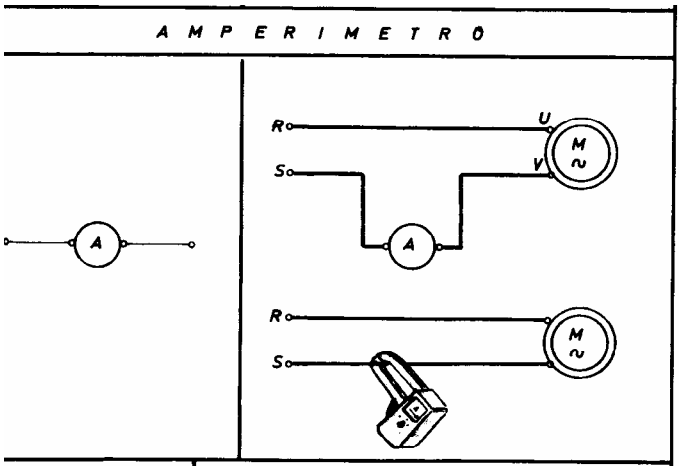
Símbolo	KWh
Unidad	Kilovatio-hora (KWh)
Instrumento de medida	medidor o contador
Fórmula	E = P x T

2. Aparatos de medida.

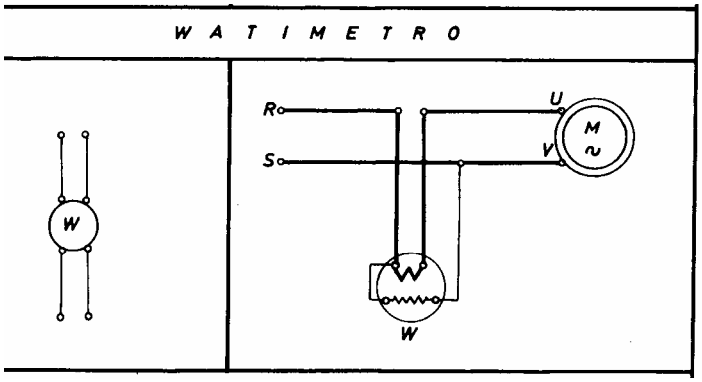
Voltímetro: misión del voltímetro es medir la diferencia de potencial o tensión existente entre dos conductores. Se conecta siempre en paralelo con la red a medir.



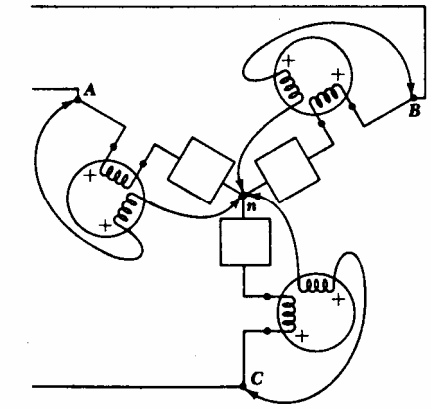
Amperímetro: La misión del amperímetro es medir la corriente eléctrica que circula por un conductor. Se conecta en serie con el circuito cuya intensidad se desea medir. Para medir la corriente que circula por un conductor también se emplea las pinza amperimétrica, que tiene la ventaja de que no hay que hacer ninguna conexión.



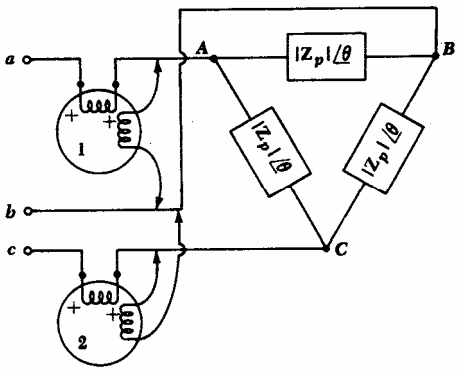
Vatímetro: para medir la potencia se emplean los vatímetros. Para medir correctamente, se debe conectar, a la vez, la señal de voltaje y corriente del circuito que se desea medir. Es importante considerar la polaridad del voltímetro y el sentido del flujo de la corriente para una correcta medida.



3. Medición de potencias trifásicas: Para un *sistema trifásico en estrella ó Y*, utilizaremos 3 vatímetros, en los que cada uno de ellos se medirá la corriente de fase y el voltaje fase-neutro.



Por otro lado, para medir la potencia *trifásica de un sistema en delta*, utilizaremos el método de los 2 vatímetros, en los que se medirá la corriente de fase y el voltaje fase-fase, una de las fases hará de común.



4. Cálculo de Potencia Instalada.

La Potencia o carga Instalada es la potencia total obtenida de sumar las potencias de cada uno de los receptores.

Ejemplo: Determinar la potencia instalada para un domicilio tipo B con los siguientes equipos

- 8 Lámparas incandescentes
- 8 toma corrientes
- 1 Plancha
- 1 Televisor.

Equipos eléctricos	**Cantidad**	**Potencia Unitaria (W)**	**Potencia Unitaria Total (W).**
Lámpara Incandescente	8	100	800
Toma corriente	8	200	1600
Refrigeradora	1	500	500
Plancha	1	1000	1000
Radio	1	200	200
Televisor		250	250
		TOTAL	**4350 W 4,35 KW**

Cálculo de la Demanda

Es la *potencia promedia* en los terminales de recepción en un intervalo de tiempo.

Por definición, el factor de demanda es igual a:

$$fd = \frac{Demanda}{Carga_Instalada}$$

Entonces

*Demanda = fd * Carga_Instalada*

Como una aproximación práctica, en adelante se utilizará un **factor de demanda único de 0,60**. Por consiguiente la Demanda se calculará de la siguiente forma:

*Demanda = 0,60 * Carga_Instalada*

Ejemplo: Del ejercicio anterior determinar la Demanda del domicilio.

Demanda = 0,60 * Carga Instalada

Demanda = 0,60 * 4350W = 2610 W (2,61 KW)

Cálculo de intensidad de la carga:

Para determinar la intensidad de la carga, utilizaremos la siguiente ecuación:

$$I = \frac{D}{K * V * FP}$$

Donde:

D = Demanda en vatios
K = Constante que depende del tipo de servicio
V = Voltaje de servicio
FP = Factor de Potencia

Valores de constante K

Servicios monofásico 2 hilos	K= 1
Servicios monofásico 3 hilos y bifásica	K= 2
Servicio trifásico 3 hilos	K= 3
Servicio trifásico 4 hilos	K= $\sqrt{3}$

Del anterior ejemplo, determinar la corriente de la carga

$$I = \frac{D}{K * V * FP}$$

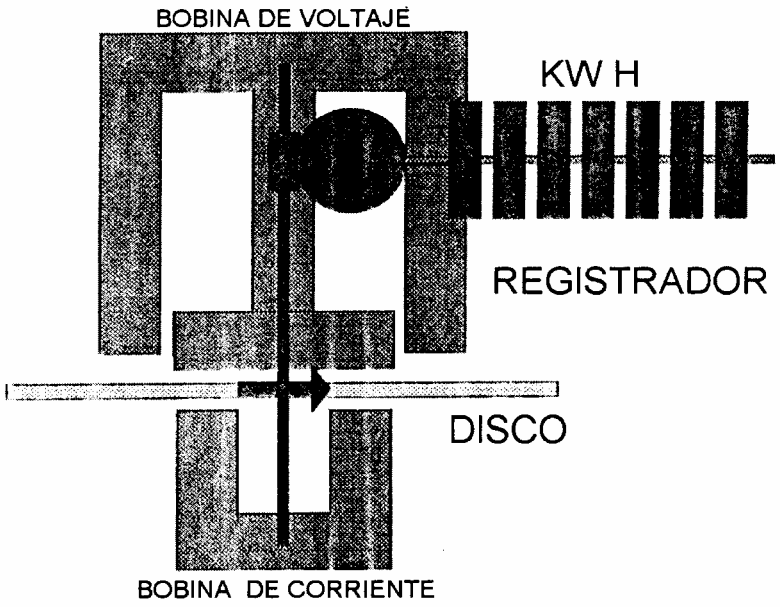
$$I = \frac{2610}{1 * 120 * 0.90} = 24{,}16A$$

5. Medidor de energía eléctrica

El *medidor* de energía, conocido también como *contador*, es un equipo que se emplea para medir la energía suministrada a los clientes. Aplicada una tarifa establecida por el Ente Regulador (CONELEC), posibilita a la Empresa realizar una facturación adecuada de la potencia y energía consumida.

5.1 Elementos constitutivos.

Un medidor de energía tipo inducción está constituido por un núcleo de chapa magnética en el que van montados dos bobinas, una en serie con el conductor por el que circula la corriente principal, y que se denomina *bobina de intensidad (ó corriente*), y otra en bobina en derivación sobre los dos conductores, denominada *bobina de tensión*. Los flujos magnéticos producidos por ambas bobinas están desfasadas 90º y actúan sobre un *disco* rotórico de aluminio. Estos flujos producen pares de giros, que a su vez provocan un movimiento de rotación del disco de aluminio a una velocidad angular proporcional a la potencia. El disco de aluminio es, además, frenado por un imán (freno de corrientes parásitas) de tal forma que la velocidad angular del disco sea proporcional a la carga. El aparato está completado por un registrador, que mediante un sistema de transmisión indica los kilovatios-hora consumidos.

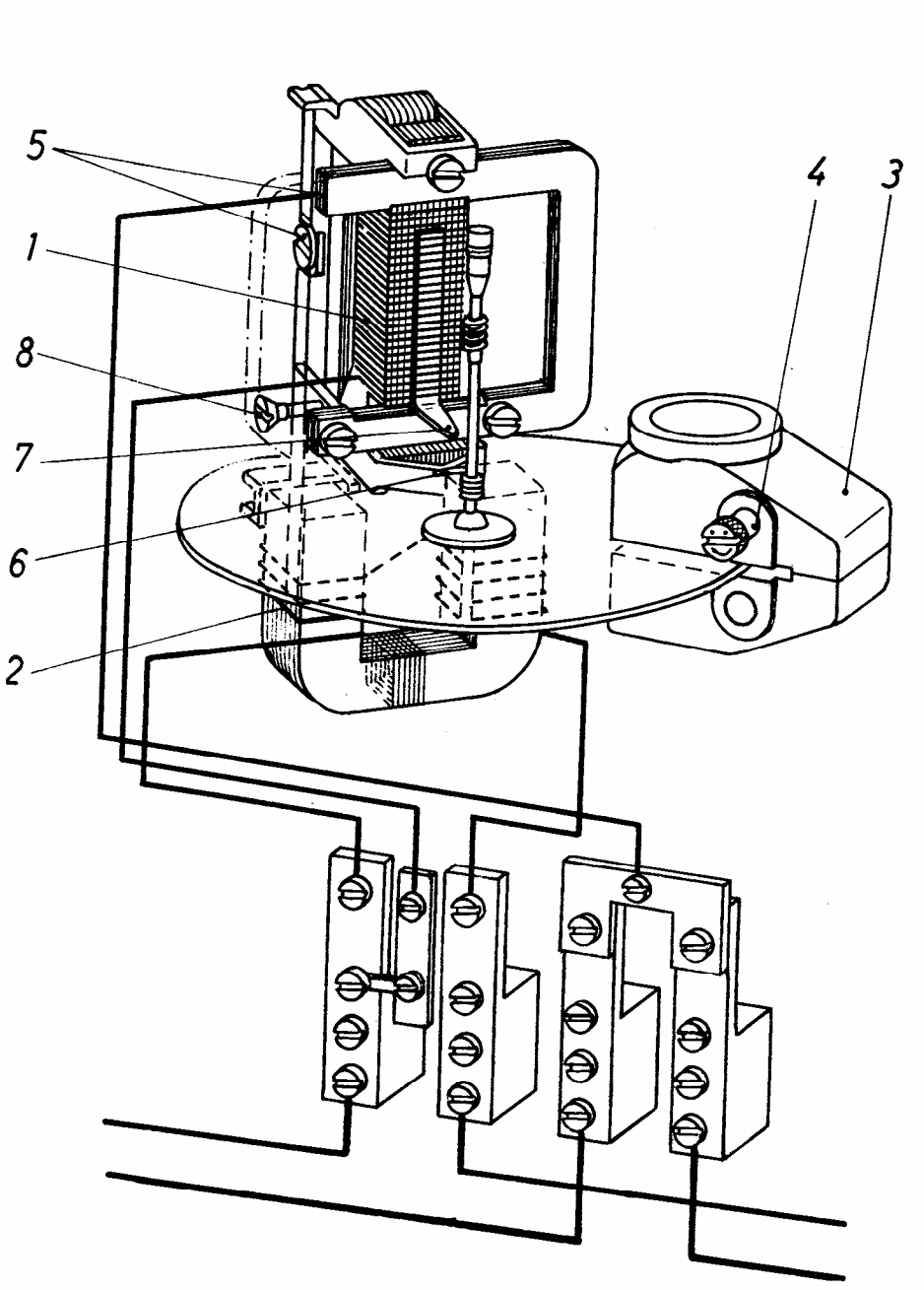


5.2 Estructura

El medidor está constituido por las siguientes partes:

1. Bobina de Tensión
2. Bobina de Intensidad
3. Imán de frenado
4. Regulación fina
5. Regulación gruesa
6. Disco
7. Sistema de Transmisión
8. Terminales de conexión

La representación esquemática de la estructura de un medidor de inducción, se visualiza a continuación en la siguiente figura:



1_Bobina de tensión. 2_Bobina de intensidad. 3_Imán de frenado. 4_Tornillo de regulación gruesa. 5_Abrazadera. 6_Bloqueo marcha inversa. 7_Angulo marcha inversa. 8_Tornillo para Regulación fina

5.3 Características Principales

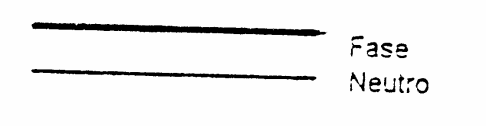
En la placa de características de un medidor de energía se indica:

a) ***Corriente Nominal (In)***: corriente para la cual el medidor es diseñado y que sirve de referencia para la realización de ensayos y verificaciones. También se la conoce como corriente básica.
b) ***Corriente máxima (Imáx)***: es la intensidad límite, es decir, el máximo amperaje que puede ser conducido en régimen permanente por la corriente del medidor, sin que su error porcentual y temperatura admisible sean superados. Este valor de la corriente límite se indica entre paréntesis detrás de la corriente nominal In(Imax); por ejemplo: 10 (20) A, 10(40) A, 15(60) A,15 (100)A., etc.
c) ***Tensión nominal***: Tensión para la cual el medidor es diseñado y sirve de referencia para la realización de pruebas. Se debe indicar que los medidores electrónicos se diseñan con un rango de tensión sin que se vea afectado su presición.
d) ***Constante del disco (K_h)***: expresada en Wh/revolución, es el número de vatios-hora correspondientes a una revolución o vuelta completa del disco. Expresada en revolución/Kwh, es el número de revoluciones correspondiente a un KWh que debe dar el disco. En medidores electrónicos, esta constante viene expresada en Wh/pulso.
e) ***Clase de precisión***: Es el valor máximo del error de medición expresado en porcentaje para el cual fue diseñado el medidor dentro del rango 10% de corriente nominal y su corriente máxima.

6. Tipos de Servicio en <u>Baja Tensión</u>.

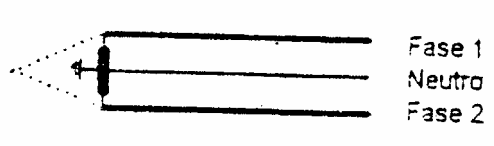
6.1 Servicio monofásico dos hilos

Es aquel que se suministra desde *un transformador monofásico*, mediante dos conductores, un activo (fase) y un neutro. Tensión nominal 120 ó 127 Voltios.



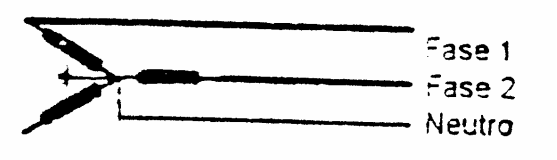
6.2 Servicio monofásico tres hilos.

Es el suministrado desde *un transformador monofásico*, empleando 3 conductores, dos activos (fases) y un neutro (derivado desde el centro del bobinado secundario). Tensión nominal 120/240 Voltios.



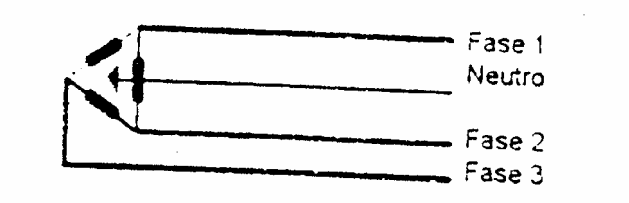
6.3 Servicio bifásico tres hilos

Es el suministro desde *un transformador trifásico o un banco de tres transformadores monofásicos conectados en estrella (aterrado) en el lado secundario*, empleando 3 conductores, dos activos (fases) y un neutro. Tensión nominal 120/208 ó 127/220 Voltios.



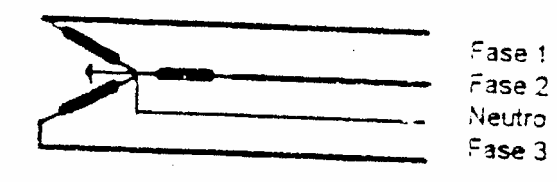
6.4 Servicio trifásico cuatro hilos delta.

Es el suministrado desde un banco de 2 ó 3 transformadores monofásicos conectados en triángulo en el lado secundario, empleando 4 conductores, tres activos y un neutro (éste último derivado del centro del bobinado secundario de uno de estos transformadores), con la restricción de que uno de los conductores activos no podrá ser utilizado para servicio monofásico. Tensión nominal 120/240 Voltios.



6.5 Servicio trifásico cuatro hilos estrella.

Es el suministro desde un transformador trifásico o un banco de tres transformadores monofásicos conectados en estrella (aterrado) en el lado secundario, empleando cuatro conductores, tres activos y un neutro. Tensión nominal 120/208 ó 127/220 Voltios.



7. Tipos de medidores de energía activa

Los medidores de energía los clasificaremos de acuerdo a: 1) El tipo de construcción, 2) conexiones internas y 3) el tipo de servicio.

7.1 De acuerdo al tipo de construcción.

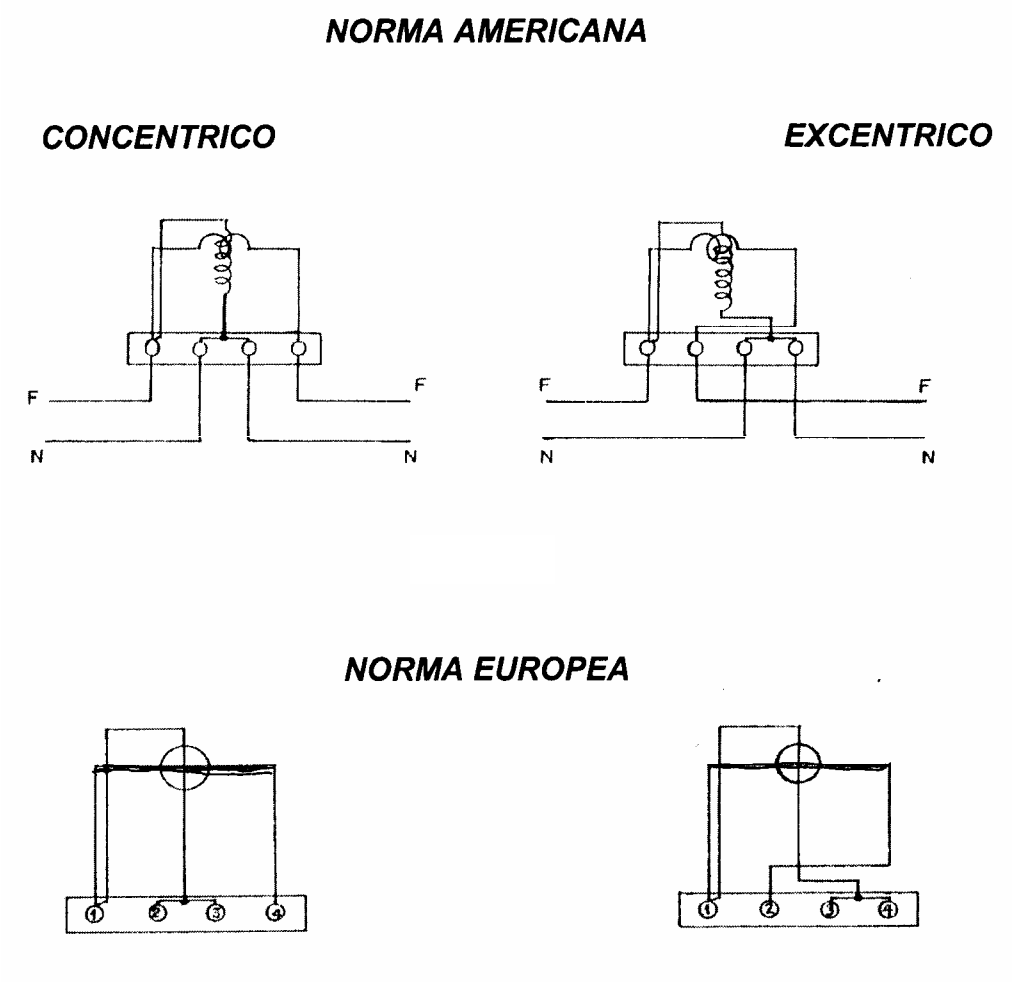
De acuerdo a la tecnología de construcción, los medidores serán:

- Electromecánicos, y
- Electrónicos.

7.2 De acuerdo a las conexiones internas:

De acuerdo a las conexiones internas, los medidores serán:

- Concéntricos, y
- Excéntricos

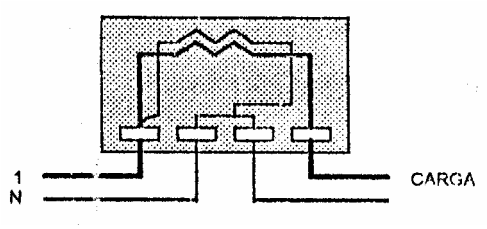


7.3 De acuerdo al tipo de servicio

7.3.1 Tipos de medidores de energía activa para ***medición directa***

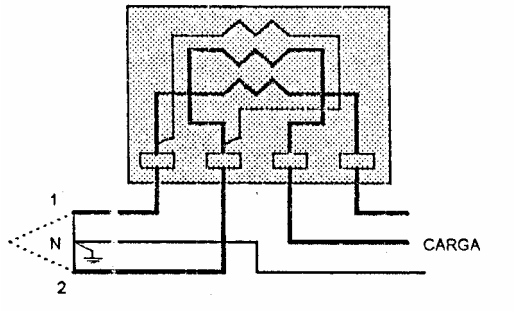
7.3.1.1 Medidor monofásico dos hilos

Medidor de un elemento motor (FORMA 1A), *conformado por una bobina de corriente y una bobina de potencial* para 120 ó 127 V., entre fase y neutro. Es utilizado para *servicios monofásicos dos hilos.*



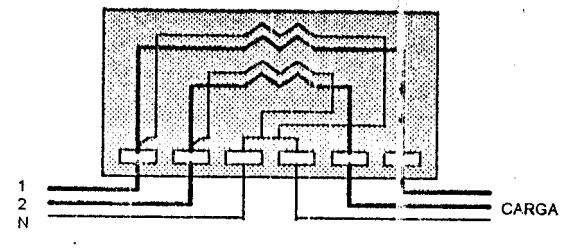
7.3.1.2 Medidor monofásico tres hilos

Medidor de un elemento motor (FORMA 2A), conformado por *dos bobinas de corriente y una de potencial* para 220 ó 240 V. entre fases. Su uso es *restringido para medir el consumo de servicios monofásicos tres hilos.*



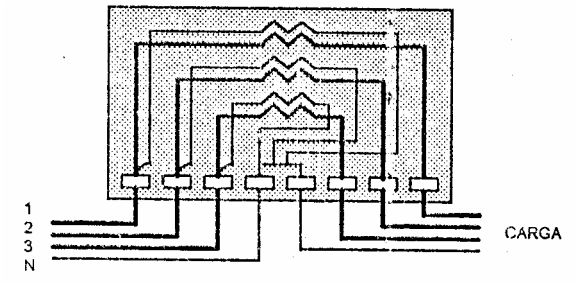
7.3.1.3 Medidor bifásico tres hilos

Medidor de dos elementos motores (FORMA 13A), donde cada elemento está conformado por *una bobina de corriente y una bobina de potencial* para 120 ó 127 V. entre fase y neutro. Es utilizado para *servicio monofásico tres hilos y bifásico tres hilos.*



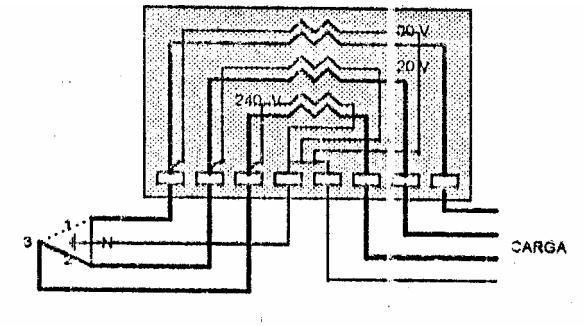
7.3.1.4 Medidor trifásico cuatro hilos.

a) Para medir el consumo de energía de servicios trifásicos cuatro hilos estrella, se tiene un medidor de tres elementos motores (FORMA 16A), donde cada elemento está conformado por una bobina de corriente y una bobina de potencial para 120 ó 127 V. fase-neutro.

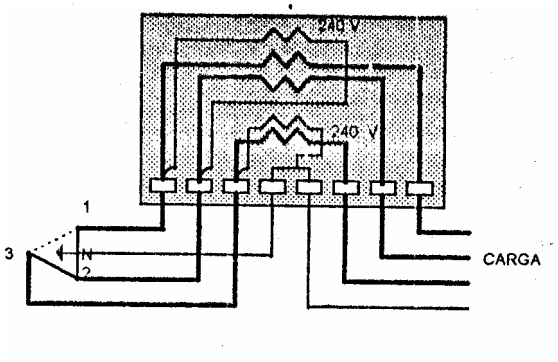


b) Para medir el consumo de energía de servicios trifásicos cuatro hilos delta, se tiene dos alternativas:

- Con un medidor de tres elementos motores (FORMA 17A), donde están conformados dos de los elementos por una bobina de corriente y una bobina de potencial para 120 V. fase-neutro y el tercero por una bobina de corriente una de potencial a 240 V fase-neutro.



- Con un medidor de dos elementos motores (FORMA 15A) donde están conformados el uno por dos bobinas de corriente y una bobina de potencial para 240 V. fase-fase y el otro por una bobina de corriente y una bobina de potencial para 240 V. fase-neutro y al cual se conectará la fase de mayor diferencia de potencial con respecto al neutro.

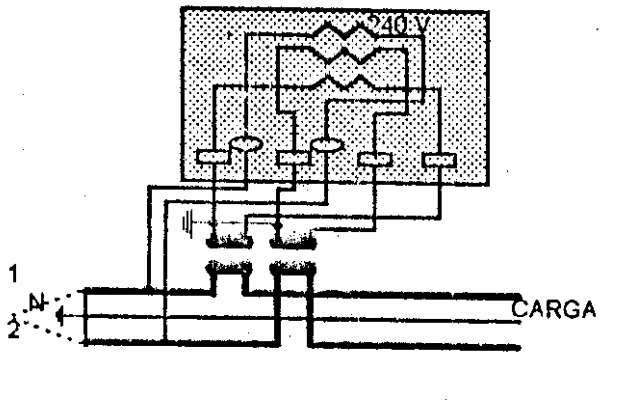


7.3.2 Tipos de medidores de energía activa para ***medición semi-directa*** en Baja Tensión

Constructivamente son de similares características a los empleados para medición directa, la diferencia radica en la corriente nominal (2,5 y 5 amperios) capaz de soportar la utilización en su instalación de transformadores de corriente (TC), en un calor igual al de las bobinas de corriente del medidor

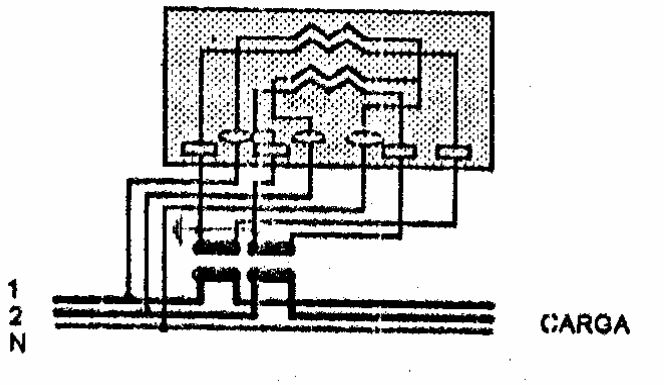
7.3.2.1 Medidor monofásico tres hilos

Forma 4A ó 4S, requiere para su instalación de dos transformadores de corriente.



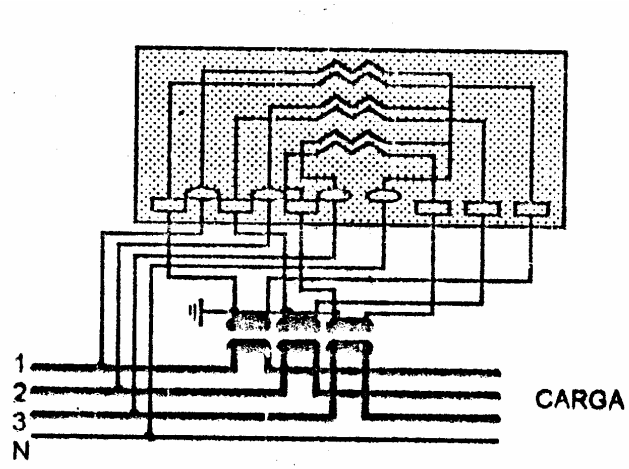
7.3.2.2 Medidor bifásico tres hilos

Forma 5A ó 5S, requiere para su instalación de dos transformadores de corriente



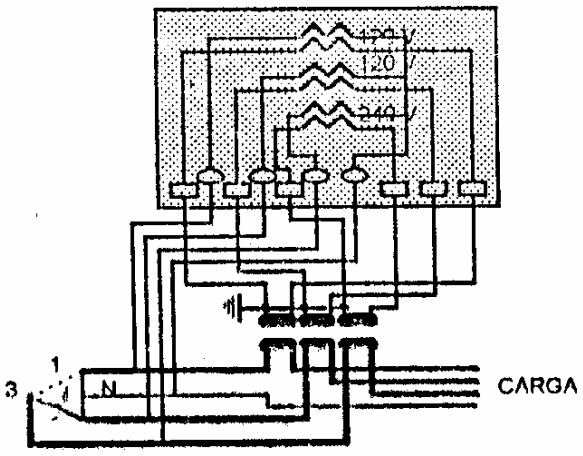
7.3.2.3 Medidor trifásico cuatro hilos

a) Par medir el consumo de energía en *servicios trifásicos cuatro hilos estrella*, se tiene un medidor de tres elementos motores forma 9A ó 9S.

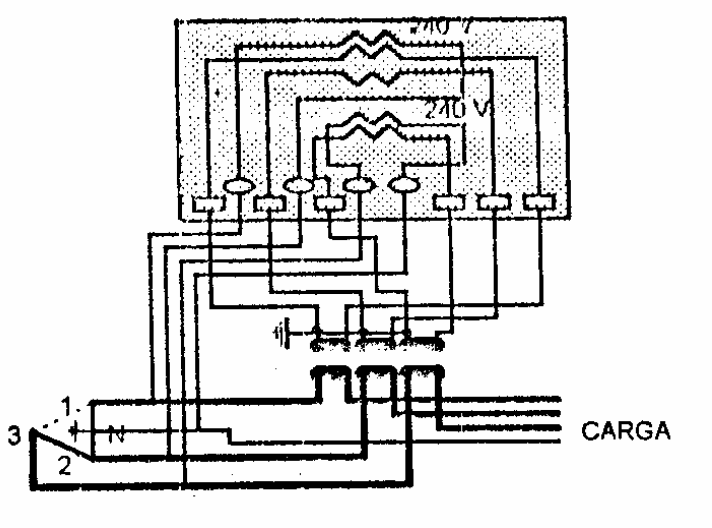


b) Para medir el consumo de energía en servicios trifásicos cuatro hilos delta, tenemos dos alternativas:

- Con un medidor de tres elementos motores Forma 11A ó 11S



- Con un medidor de dos elementos motores Forma 8A ó 8S

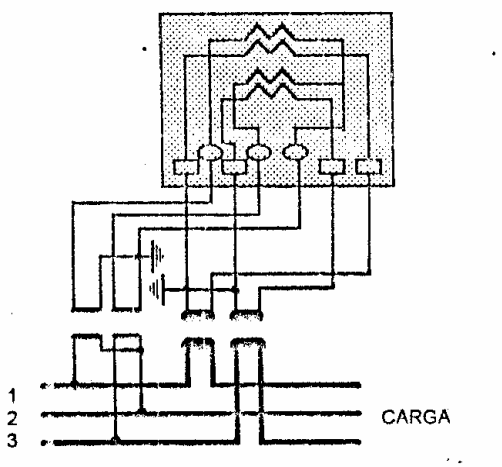


7.3.3 Tipos de medidores de energía activa para ***medición indirecta en Media Tensión*.**

7.3.3.1 Medidor trifásico tres hilos.

Es un medidor de dos elementos motores, FORMA 5A ó 5S, donde cada elemento está conformado por una bobina de corriente y una bobina de potencial para 110 ó 120 V. fase-fase y requiere para su instalación de dos transformadores de corriente y 2 de potencial.

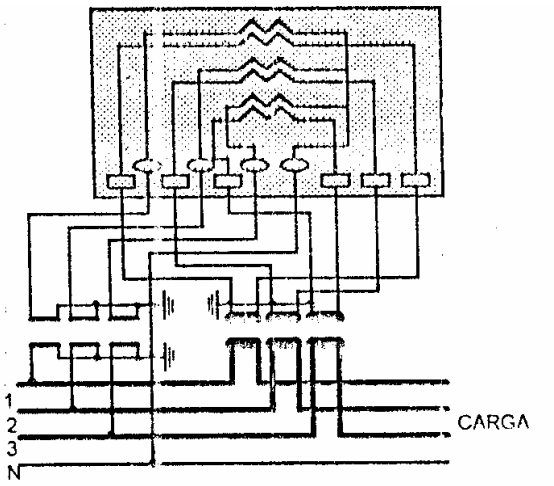
Es utilizado para medir consumos de energía eléctrica, de aquellos clientes que cuentan con centros de transformación, cuyos transformadores trifásicos o bancos de transformadores en su lado primario estén conectados en delta.



7.3.3.2 Medidor trifásico cuatro hilos.

Es un medidor de tres elementos motores (FORMA 9A ó 9S), donde cada elemento está conformado por una bobina de corriente y una bobina de potencial para $110/\sqrt{3}$ ó $120/\sqrt{3}$ V. fase-neutro y requiere para su instalación de 3 transformadores de corriente y 3 transformadores de potencial.

Es utilizado para medir el consumo de energía eléctrica de aquellos clientes que cuentan con centros de transformación compuestos por: transformadores monofásicos y/o bancos de transformadores que en su lado primario estén conectados en estrella, con neutro aterrado.



9. Selección de Acometida, Medidor y protección

El primer paso para la selección adecuada de acometida, medidor y protección será la inspección de campo en la cual se especificarán el tipo de servicio disponible, la potencia instalada, el nivel de servicio disponible y voltaje requerido por el cliente.

Cálculo de Potencia Instalada.

Ejemplo: Determinar la potencia instalada para un domicilio tipo B con los siguientes equipos a 120 V.

- 20 Lámparas incandescentes
- 30 toma corrientes
- 1 Cocina eléctrica
- 1 Calentador de agua
- 1 Refrigeradora
- 1 Plancha
- 5 Televisores.
- 4 Radios

Equipos eléctricos	Cantidad	Potencia Unitaria (W)	Potencia Unitaria Total (W).
Lámpara Incandescente	20	100	2000
Toma corriente	30	200	6000
Cocina eléctrica	1	5000	5000
Calentador de agua	1	3000	3000
Refrigeradora	1	500	500
Plancha	1	1000	1000
Televisor	5	250	1250
Radio	4	200	800
		TOTAL	**19.550 W 19,55 KW**

Cálculo de la Demanda

Ejemplo: Del ejercicio anterior determinar la Demanda del domicilio.

Demanda = 0,60 * Carga Instalada

Demanda = 0,60 * 19.550 = 11.730 W (11,73 KW)

Cálculo de intensidad de la carga:

Para determinar la intensidad de la carga, utilizaremos la siguiente ecuación:

$$I = \frac{D}{K * V * FP}$$

Donde:

D = Demanda en vatios
K = Constante que depende del tipo de servicio
V = Voltaje de servicio
FP = Factor de Potencia

Valores de constante K

Servicios monofásico 2 hilos	K= 1
Servicios monofásico 3 hilos y bifásica	K= 2
Servicio trifásico 3 hilos	K= 3
Servicio trifásico 2 hilos	K= $\sqrt{3}$

El tipo de servicio a ser entregado en función de la carga instalada, se recomienda escogerlo en función de la tabla 2:

Carga Instalada (W)	Tipo de servicio
0 – 6000	Monofásico 2 hilos
6001 – 45000	Monofásico 3 hilos ó bifásico
45001 – 60000	Trifásico 3 ó 4 hilos

Selección de medidor adecuado

Ejercicio: Del ejemplo anterior, el tipo de medidor que se debería instalar.

En primer lugar, determinamos el valor del voltaje de servicio.

Como la carga instalada es de 19.550 W, entonces el servicio será monofásico 3 hilos 120/240 V.

A continuación, calculamos el valor de la intensidad de la carga

$$I = \frac{D}{K * V * FP}$$

D = 11.730 W
K = 2 porque el servicio es monofásico 3 hilos
V = 240 V.
FP = 0,90

$$I = \frac{11.730}{2 * 240 * 0{,}90} = 27.15A$$

Entonces la corriente máxima del medidor será 60 ó 100 A.

Resultado*: El medidor a escogerse será monofásica a 3 hilos 120/240 V de 15/60 A. ö un medidor bifásico 120 V. de 15/60.*

Selección de conductor de Acometida.

El calibre de la acometida adecuada, estará en función de capacidad de conducción de la corriente de carga obteniendo el calibre de las tablas técnicas.

Basado en la experiencia se ha resumido los calibres más comunes en la tabla adjunta:

Ejemplo: Del ejercicio indicado, determine la acometida mas adecuada ha ser instalada.

***Resultado**: Como la carga instalada es 19.550 W y el servicio será monofásico 3 hilos, entonces la Acometida será 3 conductores # 6 AWG (3 x 6) de Aluminio.*

Selección de la protección

La selección de la protección general, se la hará como se indica las normas de diseño; esto es, la corriente de carga multiplicar por un factor de 1,25 para asegurar futuros incrementos de carga.

I = Icarga * 1,25
I= 27.15* 1,25 = 33.94 A

***Resultado**: Para este caso podemos escoger 2 breaker monopolares de 50 A (2 x 50 A) ó un breaker bipolar de 50 A.*

BIBLIOGRAFIA

[1] BarreraVicente y Guillén Luis, MANUAL DE INSTALACION DE SISTEMA DE MEDICION, EERCSSA.

[2] Roldán Vitoria, MANUAL DEL ELECTRICISTA DEL TALLER, Editorial Paraninfo.

[2] William Hayt y Jack Kemmerly ANALISIS DE CIRCUITOS EN INGENIERIA, Editorial Mc Graw Hill.

[3] Fundación CICE. INSTALACION DE MEDIDORES EN BT Y MEDICION INDIRECTA. 2006.

[4] General Electric Company. METERING SELECTION GUIDE.

[5] General Electric Company. APPLICATION OF WATTHOUR METERS.

.

ANEXOS

Tabla 1. Cargas Típiocas de Aparatos Eléctricos.

		USUARIOS TIPO			
item	Descripción	A	B	C	D y E
1	Punto de alumbrado	100	100	100	100
2	Punto de alumbrado (aplique)	25	25	25	
3	Tomacorriente	200	200	200	200
4	Cocina	10000	5000	3000	
5	Asador	1300	1300		
6	Horno	2000			
7	Secadora	5000			
8	Tostador	1000			
9	Cafetera	600	600	600	
10	Sartén	800	800		
11	Calentador de agua	3000	3000	3000	3000
12	Refrigeradora	500	500	500	
13	Batidora	150	150	150	
14	Radio	200	200	200	200
15	Lavadora	400	400	400	
16	Plancha	1000	1000	1000	1000
17	Televisor	250	250	250	250
18	Aspiradora	400	400	400	
19	Secadora de pelo	250	250	250	
20	Máquina de coser	100	100		
21	Equipo de sonido	300	300	300	300
22	Calefactor	1000	1000		
23	Bomba de Agua	750	750		

Tabla 2. Tipo de servicio y medidor de acuerdo a la carga instalada

Carga Instalada (W)	Tipo servicio	Medición	Medidor
0 - 6.000	Monofásico 2h	Directa	Monofásico 2h
6.001 - 15.000	Monofásico 3h Bifásico 3h	Directa Directa	Monofásico 3h Bifásico 3h
15.001 - 45.000	Monofásico 3h Bifásico 3h	Semi-directa Semi-directa	Monofásico 3h XX / 5A Bifásico 3h XX /5
45.001 - 60.000	Trifásico 3h ó 4h	Directa	Trifásico 3h ó 4h
60.001-250.000	Trifásico 3h ó 4h	Semi-directa	Trifásico 3h ó 4h XX / 5A
250.001 - Superior	Trifásico 3h ó 4h	Indirecta	Trifásico 3h ó 4h XX / 120 V. XX / 5A

Tabla 3. Tipo de acometida

Carga Instalada (W)	Aluminio		
	2 Hilos	3 hilos	4 Hilos
0 - 6.000	2 x 6		
6.001 - 15.000	2 x 4		
15.001 - 20.000		3 x 6	
20.000 - 25.000		3 x 4	
25.000 - 45.000		3 x 1/0 ó 2/0	
45.001 - 60.000			4 X 4